簡易粒径計測システム Ver.3.1－導入説明書（動作確認用）
An Introduction Manual of Simple Drop-sizing System

本システムは「**噴霧の平均粒径を測定する低予算で必要最低限のシステム**」を意図して開発を進めているものです．粒子群にレーザー光を照射して，粒子からの散乱光の像をデジタルカメラで記録し，その画像を PC で解析するしくみです．原理上，**噴霧パターンが時間変動する噴霧や間欠噴霧は測定できません**．定常的な噴霧や気泡流など散乱光の分布や強さの時間変動が無視できるようなものならば，各種の平均粒径の測定が可能です．また，粒径の頻度分布の概略を調べることも可能です．本書は簡易粒径計測システム Ver.3.1（C-MOS カメラの撮像素子上に光学フィルターを設置）の導入説明書です．

システムの設定・調整には，ある程度の基礎知識が必要です．また，使用に際しては結果の妥当性を注意深く吟味する必要があります．これが困難な方は市販の計測機器を使用してください．

本書では，簡易粒径計測システムを導入するための必要最低限の情報をまとめます．

計測原理（レーザー回折）や粒径頻度分布，各種の平均粒径については，文献(1)(3)を参照してください．また，簡易粒径計測システムのプログラムの構成などについては，文献(8)を参照してください．

図１　簡易粒径計測システムの外観

表１　簡易粒径計測システム測定レンジと測定体積

測定レンジ	直径 6.6μm～450μm の空気中の球状の水滴群
測定体積	平凸レンズ端より 600mm 以内のレーザー光束上

表２　使用部品一覧

品名・仕様	数量
小型Ｘ型レール L=1000　中央精機 C-210-(2)	1
X 型レールキャリア W=40　中央精機 C211-(1)P	2
X 型レールキャリア W=80　中央精機 C211-(2)P	1
X 型レールスタンド　中央精機 C212-(1)	1
固定式レンズホルダー(標準型) シグマ光機 LHF-80A	1
スパナーレンチ　エドモンド #70-751（レンズホルダーの大口径ねじリング脱着用）	1
高安定性ロッドスタンド　シグマ光機 BRS-20-60（ϕ20mm, L=60mm）	1
球面平凸レンズ　シグマ光機 SLB-80-100PM（ϕ80mm, f=100mm, BK7）	1
Ｃマウント 30mm ホルダー　エドモンド #63-977（ϕ30mm, M6）	
高安定性ロッドスタンド　シグマ光機　BRS-12-80（ϕ12mm, L=80mm）	1
ロッド　シグマ光機　RO-12-80（ϕ12mm, M6, L=80mm）	1
半導体レーザー　キコー技研 MLXB-A12-635-5（5mW, コリメーター付き）	1
C マウント 35mm カメラレンズアダプター(ニコン F)　エドモンド #54-341	1
リバースアダプター　ニコン BR-2A	1
ND フィルター　ケンコーPro-ND400, 52mm	1
ハイグレードアルミＸＹステージ 40×40(標準型)　中央精機 LD-4047-S8	1
DT Ｘ軸ステージ 40×40(粗微動ハンドル)　中央精機 LS-412S	1
ミスミ　L 型ブラケット LAFWF-SSB-T6-A40-B50-L40-P4-V32-S14-W32-M3-X7.5-H20-F25-G12.5-NA4	1
ミスミ L 型ブラケット LAFDF-SSB-T6-A19-B55-L40-P4-V32-S19-W32-N3-X7.3-H12.5-F25.4-NA3	1
M3 ねじ L=10～12mm ＋ 平座金	6
M4 ねじ L=10～12mm ＋ 平座金	4
C-MOS カメラ　EPIX SV9M001M	1
上記カメラ用グラバーボード　EPIX PIXCI=SI1(PCI-Express×1 用 1ch ボード)	1
上記カメラ用接続ケーブル EPIX CBL-SI-**（適当な長さ･仕様のケーブルを選択）	1
上記カメラ用キャプチャーソフト XCAP-Lite(C-MOS カメラに付属)	1
上記カメラ対応の PC(PCI-Express×1 スロット付き, RAM=4GB 以上, Windows 7 以降推奨)	1
C-MOS カメラの素子上に設置する光学フィルター(供給可能) ＆ 薄い両面テープ	1

１．事前準備

A. 半導体レーザーの動作確認　　【注意：レーザーの出射口を直接覗かないこと.】

(1) 半導体レーザーの電源を入れ，平行な光ビームが出射されることを確認してください．光ビームが平行でない場合には，半導体レーザーの取扱説明書に従って調整してください．

(2) 出力調整ダイヤルを回すことによりレーザー光の出力が調整できることを確認してください．

B. C-MOS カメラの動作確認　　（カメラには適当な C マウントのレンズを装着）

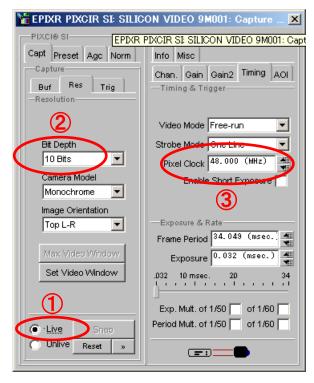
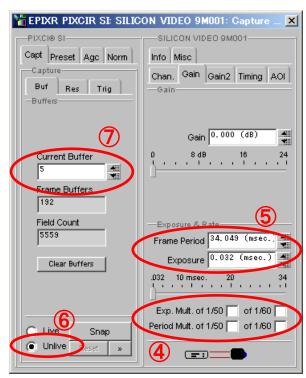
(1) C-MOS カメラキットの XCAP セットアップマニュアル(カメラ付属の CD-ROM の中)に従ってカメラを使用する準備を行ってください．

現行のシステムは XCAP-Lite Ver.3.*を対象としています．他のバージョンでは作動しません．他のバージョン使用の際は対応する XCLIB でソースコードを再コンパイルしてください．

(2) XCAP を起動して **Live 画像を表示し**（Capture ウィンドウ左側 Res タグ内の Live をチェック；図 2(a)中①の部分)，カメラが写している画像が表示されることを確認してください．

(3) **Bit Depth＝10Bits**（Capture ウィンドウ左側 Res タグ：図 2(a)中②の部分)，**Pixel Clock＝48MHz**（Capture ウィンドウ右側 Timing タグ内；図 2(a)中③の部分）の状態で，正常に作動することを確認してください（エラー「Error: Video not Captured (PCI FIFO Overflow)」などが出ない)．

(4) **Current Buffer の値**（Capture ウィンドウ右側 Buf タグ内；図 2(b)中⑦の部分）を 0～39 の範囲で変更できることを確認してください．

(5) カメラが正常に作動しない場合には，XCAP セットアップマニュアルを確認すると共に，PC がカメラキットの要求仕様を満たしているかどうかなどを確認してください．

(a) Resolution 設定タグと Timing 設定タグ

(b) Buffer タグと Gain, Exposure 設定タグ

図２　XCAP for Windows の Capture ウィンドウ

C. 光学フィルタの設置方法

簡易粒径計測システム Ver.3.1 では，C-MOS カメラの撮像素子上に光学フィルターを設置して使用します．光学フィルターはマイクロフィルム化技術により透明フィルム上に直径約 130μm の黒丸（以下，Dot と呼ぶ）をプリントしたものです．〔少量なら筆者より提供可能；本書末の連絡先へ〕

ここでは光学フィルターの設置方法について説明します．この作業を行うとカメラのメーカー保障は一切受けられなくなります．**B.**の動作確認を済ませた上で，注意して作業してください．

(1) Dot が中央に位置するように光学フィルターの透明フィルムを約 15mm 角にカットしてください．

(2) カットしたフィルムを C-MOS カメラの撮像素子のカバーガラスの上面に，図 4 に示すように Dot がイメージセンサー部分のほぼ中央になるように薄い両面テープを使用して貼り付けてください．

※ 静電気や水分などでカメラ内部の電子回路を破損しないよう注意のこと．

※ フィルムや撮像素子のカバーガラスに指紋やゴミを付けないように注意のこと．

※ C-MOS カメラの裏ブタを外し，内部の基盤を取り出すと作業が容易です．〔図 5 参照；ネジやスペーサーなど部品を紛失しないよう注意〕

図３　光学フィルターの拡大写真
（黒丸をプリントした透明フィルム）

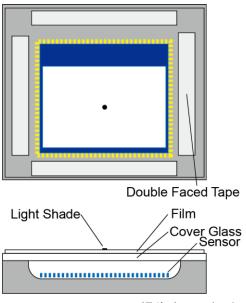



図４　C-MOS カメラ撮像素子の概略
（Dot 付き光学フィルターの設置）

D. 光学系の組み立て，光軸の調整

ここでは既に C-MOS カメラの撮像素子上に光学フィルターが設置されていることを前提に説明を進めます．

(1) 図 1 や図 6 を参考に表 2 の部品を組み立ててください．カメラは天地逆向き（マウント金具が上側），平凸レンズは凸面が半導体レーザー側です．この段階ではまだ，平凸レンズの焦点をカメラの撮像面に合わせないでください．

(2) C-MOS カメラの撮像素子上面にゴミやほこりが付着していないことを確認してください．また，平凸レンズ，ND フィルター，半導体レーザーのコリメーターレンズ部にゴミやほこり，指紋の付着などが無いことを確認してください．

(3) PC と C-MOS カメラを専用ケーブルで接続してください．

図５　C-MOS カメラ内部の基盤
（ガラスで覆われた部分が撮像素子）

(4) 半導体レーザーの電源を入れ，出力調整ダイヤルを**最大**にしてください．

(5)【光軸合わせ】カメラを取り付けた微動ステージの位置をほぼ中央にして，光ビームが平凸レンズのほぼ中心に垂直に入射し，レンズを通った光ビームが ND フィルターのほぼ中央に入射するように半導体レーザーや平凸レンズのホルダー高さや向きを調整してください．

※ 光ビームが平凸レンズのほぼ中央に垂直に入射していないと，後述する(12)でレーザー光のスポットの形状が円形にならず，以降の調整・設定が出来ません．（図 8 参照）

※ 中心に×印を付けたϕ100mm の円形厚紙をレンズホルダーに重ねると調整が容易です．

(6) C-MOS カメラの撮像面とレンズ中心面の距離が 120～150mm 程度となるよう，平凸レンズの前後方向位置を粗調整してください．

(7) PC 上で XCAP を起動してください(Live 画像を表示)．上記(5)の光軸合わせが出来ており，平凸レンズが上記(6)の位置にある場合には，XCAP 上でのレーザー光の像は図 7(a)のようになります．図の白い円の中にある黒抜けした部分が光学フィルターの Dot の影です．

(8) XCAP の Pixel Cursor の黄色線の交点を図 7(a)のように Dot の中心に合わせ，XCAP の Pixel Peek 画面を利用して Dot 中心の座標を読み取ってください(図 7(b)参照)．

(9) エディター等で DSMLDM.set ファイルを開き，X_dot[0]，Y_dot[0]の値を図 7(b)①，②の値に書き換えてください．

※ 光学フィルター(Dot)を付け直したら，上記(7)～(9)の操作をやり直してください．

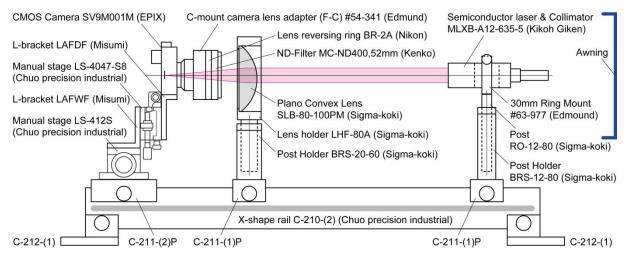



図６　簡易粒径計測システムの光学系の構成

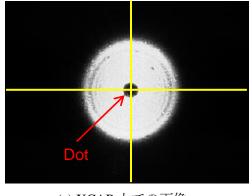
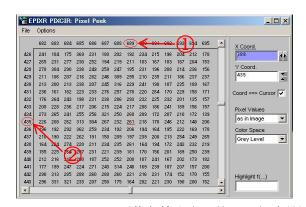
(a) XCAP 上での画像

(b) Pixel Peek 画面（黄色線交点近傍での輝度値）

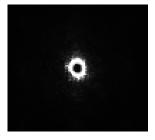
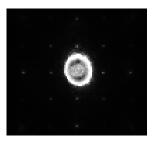
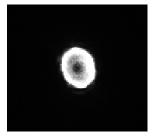
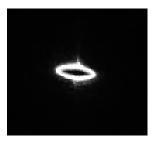
図７　光学フィルターの Dot の位置

(a)適正位置の場合　(b)適正位置よりやや近い　(c)適正位置よりやや遠い　(d)光軸調整が不十分

図８　レーザー光のスポットの像（XCAP の Live 画像表示の中央部を拡大）

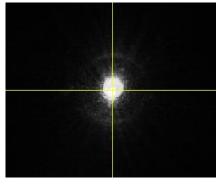



図９　光学フィルターの Dot の中心（黄色線交点）にレーザー光のスポットの中心を合わせる

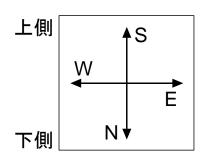



図１０　向きを示す矢印
（C-MOS カメラ背面に）

(10)XCAP 上で黄色線の交点を光学フィルターの Dot 中心に合わせたまま平凸レンズを前後に動かして，C-MOS カメラの撮像面とレンズ中心面の距離が約 100mm となるよう調整してください．このときカメラを前後に動かす微動ステージの位置はほぼ中央にしておいてください．

※　C-MOS カメラの撮像面は，レンズ取付ネジ先端から約 17.5mm 後方です．

※　使用する平凸レンズの中心面は，平らな面から約 14.4mm 凸面側です．

(11)XCAP の Exp. Multi および Period Multi の機能を全て OFF にし（Capture ウィンドウ右側 Gain タグ内：図 2(b)④），Exposure および Frame Period を最小値に設定してください（Capture ウィンドウ右側 Gain タグ内：図 2(b)⑤）．

(12)【焦点合わせ】XCAP 上で Live 画像を確認しながら微動ステージで C-MOS カメラを前後に少しずつ動かして，レーザー光のスポットが最も小さくなる位置にしてください（図 8 参照）．このときレーザー光のスポットが光学フィルターの Dot と重なると大きさがわかりませんので，カメラの位置を上下または左右に少しずらした状態で調整してください．

※　XCAP の Zoom 機能を ON にしてレーザー光のスポットを拡大表示すると調整が容易です．

※　レーザー光が強い場合にはスポットの中心部が黒く中抜けすることがありますが，ここではレーザー光の強さを調整する必要はありません．

※　**上記の調整（光軸・焦点）に不備があると，測定の際に大きな誤差を生じます．**

(13)(12)の調整の後，微動ステージで C-MOS カメラを上下左右方向に動かして XCAP 画面上の黄色線の交点すなわち光学フィルターDot 中心にレーザー光スポットを合わせます（図 9 参照）．

(14)測定時の光学系の微調整のため，C-MOS カメラの背面（微動ステージ背面でも可）に図 10 のような向きを示す矢印を記入するか，矢印を書いた紙を貼って下さい．

表３　必要なファイル・プログラムの一覧

ファイル・プログラムの名称	備　考
DSMLDM??.exe　（配布）	簡易粒径計測システムの実行用プログラム
XCLIBWNT.dll　（配布）	上記のダイナミックリンクライブラリ
DSMLDM??.cpp　（配布，必須ではない）	簡易粒径計測システムのソースコード（C++）
DSMLDM.set　（配布，要調整）	簡易粒径計測システムの定数設定ファイル
DSMLDM.dat　（配布）	散乱光強度分布のデータファイル
DSMLDM-txt.ngp　（配布）	粒径頻度分布を表示する Ngraph のファイル （要調整：読込の先頭スキップ行＆最終行）
Ngraph for Windows ２次元グラフ作成プログラム	シェアウェア （http://www.vector.co.jp/などから入手可能）
C++コンパイラ（Microsoft Visual C++.net）	コードを修正して再コンパイルする際に必要
XCLIB（**XCAP-Lite と同一 Ver.のこと**） EPIX C-MOS カメラ用ソフトウェア開発キット	コードを修正して再コンパイルする際に必要 （@75,000：必要に応じて）

F. プログラム・ファイル等の準備

(1) 専用のフォルダを作成し，その中に表 3 中に赤い字で示したファイルをコピーしてください．なお，このフォルダは，フォルダオプション「登録した拡張子は表示しない」のチェックを外しておいてください．

(2) **DSMLDM.dat** は，伊藤正行氏が開発した Mie 散乱計算プログラムライブラリー[(2)]を利用して所定の粒径の粒子からの散乱光の強度分布を計算した本システム用のデータファイルです．水の屈折率にもとづいて計算したものですが，他の液体でも利用可能です（粒径 10μm 程度以上なら屈折率の値が少々異なっても測定結果にほとんど差がない）．

(3) DSMLDM.set 内の定数は用途に応じて適宜，調整してください（変数との対応や役割はソースコードならびに表 5 参照）．なお，簡易粒径計測システムのソースコードを修正する場合には，C++コンパイラおよびソフトウェア開発キット XCLIB が必要になります．

２．試運転

簡易粒径計測システムは，光学系の受光部に不要の光が入射しないように設置してください．

(1) まず，噴霧のない状態で調整と動作確認を行います．**XCAP および他のアプリを全て終了**した上で，簡易粒径計測システムのプログラムを起動し（表 3 のファイルの入ったフォルダで DSMLDM??.exe をダブルクリック），画面の指示に従って半導体レーザーの電源を ON/OFF しながら” Fine Adjustment of Laser Spot to Dot Center”まで進んでください．（図 11 参照）

※　受光部に不要の光が入っていると“Getting Sensor Noise”に大きな数字が並びます．光源後方に黒い板などを設置してください（対策すれば通常の室内照明の下でも使用可能）．

(2) カメラの水平・垂直方向の位置の微調整を行います．図 11 の①の部分に DSMLDM.set ファイルに指定した Dot 中心（X_dot[0], Y_dot[0]）近傍での光強度の分布が表示されます．各 Arc No. の E と W，N と S の値がおおむね同じならば（主に Arc No.2～3 に注目），”Y”を入力して次に進んでください．値が大きく異なる場合，E が大きければカメラの位置をわずかに図 10 で書いた矢印の E の向きに，N が大きければカメラの位置をわずかに N の向きに動かした上で”R”を入力し，再度 Dot 中心近傍での光強度の分布を表示させ，値を比較してください．各 Arc No.

```
    ########################################################################
    ##                                                                    ##
    ##          Drop Size Measurement by Laser Diffraction Method        ##
    ##                                                                    ##
    ########################################################################


**********   CLOSE XCAP-Lite (image viewer)   **********     Press [Enter] key.

Reading Data
   Arcs / Decade              =  12
   Pixel Size / Focal Length  =  5.2e-005
   Wave Length of Laser       =  0.635 [micron]
   Relative Refractive Index  = (1.330, -0.000)
   Exponent of R for Analysis =  1.500
   Exponent of R for Smoothing=  2.100
   Center of Dot              = (670, 495) [pixel]
   Diameter of Dot            =  26        [pixel]

Camera Setting
   Columns = 1280   Rows = 1024   BitDepth = 10   Frame = 40   Capture = 10

             PCF(MHz)    Exposure(msec)        Ratio
   Image-0      25            0.061                1
   Image-1      25             1.98              32.4 ( x 32.4 )
   Image-2      25               64          1.05e+003 ( x 32.4 )
                                          ( Total Bit Depth = 19.8 )

**********  TURN  OFF  LASER.  ( stop spray )  **********     Press [Enter] key.

Getting Sensor Noise
   Image-0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0   Ave.= 5.45971
   Image-1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0   Ave.= 5.5502
   Image-2    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0   Ave.= 5.57476

**********  TURN  ON  LASER.   ( stop spray )  **********     Press [Enter] key.

Fine Adjustment of Laser Spot to Dot Center  (pre-entered)

   Getting Images: 012210 012210 012210 012210 012210   [C]

                    Distributions of Light Intensity
             ||    E    |     W   ||    N    |    S    ||   ←①
Arc No : 1   ||   2319  |    2887 ||   5106  |   5158  ||
Arc No : 2   ||   2071  |    2535 ||   4661  |   3945  ||
Arc No : 3   ||   1859  |    2165 ||   3936  |   2987  ||
Arc No : 4   ||   1662  |    1939 ||   3630  |   2516  ||
Arc No : 5   ||   1410  |    1656 ||   2854  |   2017  ||

          Symmetric ?  If not, adjust camera location and Retry.
                    ( Yes => Y / Retry => R ): y              ←②
```

図11　簡易粒径計測システムの画面表示の例(1)

```
   Center of Light Image
      Initial Data  =  ( 670 , 495 )
      Image-center ( 1 ) = ( 669.200054 , 497.128728 )
      Image-center ( 2 ) = ( 668.925560 , 497.291869 )
      Image-center ( 3 ) = ( 669.013642 , 496.573321 )
      Image-center ( 4 ) = ( 669.063748 , 496.689794 )

Making Mask:   Masked = 10556 [pixel]  ( 0.8% )       ←③

Setting for Image Analysis
   Center of Dot       =( 670.0, 495.0 ) [pixel]      ←④
   Center of Image     =( 669.1, 496.7 ) [pixel]
   TM estimate: Radius  <   2.5 [pixel]     Intensity: 3.07e+005   ( 33.4% )
   Inner Arc:   Radius =   15.0 [pixel]     Intensity: 4.24e+003   (  0.5% )
   Outer Arc:   Radius =  843.5 [pixel]     Intensity: 2.4
   Num. of Output Saturated Pixels =   1              ←⑤

   Diameter Range:  6.63 - 452 [micron]

          Complete Setting ? ( Yes => Y / Retry => R / Exit => N ): y

         *************************************************************
         *     START MEASURMENTS                                     *
         *          Enter Comment(w/o space) and Press [Enter] key.  *
         *************************************************************

Run #001: Reticle ←⑥
   Getting Images: 012210 012210 012210 012210 012210  [C]
   Displacement of Laser Spot = 0.66 [pixel]

   Solving Matrix: Residual = 0.000385  after 145 iterations

   Volume Frequency
       |T
       |T
       |T
       |T
       |T
       |T
       |T
       |T                     oo
       |T               oooooo88
       |T             oo8888888888oo
      ++---------------------------------------------+
  Small(6.63)                                   Large(452)

   Transmittance = 1.000
   D32  =  42.5,    D30  =  30.2,    D20  =  25.5,    D10  =  20.3      ←⑦
   Dv10 =  29.2,    Dv50 =  50.4,    Dv90 =  73.3,    Span = 0.877

      Continue ? ( Yes => Y / No => N / Recalculate(w/o huge drop) => R ):  ←⑧
```

図12　簡易粒径計測システムの画面表示の例(2)

のＥとW，ＮとＳの値が同程度となるまで，この操作を繰り返して下さい．

※　**カメラの大きく動かすと調整困難になりますので，少しずつ動かして調整して下さい．何度調整してもうまくいかない状況に陥ったら，D.(7)に戻って調整し直して下さい．**

(3) マスク率（図 12③）が 10%程度以下であることを確認してください．20%を超える場合には，光学系部品が極端に汚れていないか，焦点合わせや光軸合わせは妥当か，などを確認してください．それでもマスク率を小さくできない場合には，定数設定ファイル DSMLDM.set 内のノイズ検出のしきい値の調整で解決できることがあります.（例えば CUTITP を大きくする.）

(4) 図 12④の”Center of Image”と”Center of Dot”の値が，ほぼ同程度であることを確認してください．同程度でない場合には，D.(10)から光軸調整をやり直してください．

(5) Outer Arc:の Intensity の値が 2.0 未満とならないように注意しながらレーザー出力を徐々に弱め，図 12⑤の”Num. of Output Saturated Pixels”がなるべく小さな数となるように調整してください．（”Complete Setting ?”に対して”R”を入力して，妥当な状態となるまで調整を繰り返す.）

(6) ”Complete Setting ?”に対して”Y”を入力すると粒径測定に移ります．”Run #0??: ”に続けて測定メモを入力し（図 12⑥；スペースを含まないこと），Enter を入力すると測定が始まります．測定結果は図 12⑦のように表示されます．このうち **Transmittance** は光ビームの透過率，**D32** は粒子群のザウター平均粒径（体表面積平均粒径），**D30, D20, D10** はそれぞれ体積平均粒径，面積平均粒径，長さ平均粒径です．また，**Dv10, Dv50, Dv90** はそれぞれ累積頻度分布（体積基準）の 10%径，50%径，90%径，**Span** は粒径の均一度の指標です．

(7) 最初は光ビーム上に粒子の全く無い状態で測定してみてください．この状態では，光ビームの透過率 Transmittance が 1.0 程度となるはずです. 透過率が 1.05 以上または 0.95 以下の場合，レーザーの光出力が安定していない可能性があります．システム（カメラ＆半導体レーザー）を 30 分程度ウォーミングアップ（通電）した上で，やり直してみてください．

(8) 図 12⑧の" Continue ? (Yes => Y / No => N / Recalculate(w/o huge drop) => R): "に対して”Y”を入力すると次の測定ができます．既知の直径の円が多数プリントされたレチクルなどを光ビーム上に設置して測定してみてください．画面のヒストグラム表示”Volume Frequency”が単一のピークとなっていること，**Dv50** の表示が円の直径とほぼ一致していることを確認してください．なお，”Continue ? (Yes => Y / No => N / Recalculate(w/o huge drop) => R):”に対して”R”を入力すると，測定レンジ上限付近の粒径の頻度を無視して各種粒径を計算し直します．

(9) これらの測定が終わったら，一旦プログラムを終了して（"Continue ? "に対して”N”を入力)，出力ファイルの内容を確認してください（出力ファイルの内容の詳細はソースコードを参照のこと）．なお，出力ファイルはプログラム起動の度に上書きされます．

- DSMLDM.txt には，Transmittance，各種の粒径ならびに粒径の頻度分布などが保存されています．Ngraph で DSMLDM-txt.ngp を開くと，頻度分布を確認できます（図 13 参照，Ngraph のデータ／設定で読込みの先頭スキップ行と最終行を適宜修正のこと）．
- XCAP を起動し，Unlive モード（図 2(b)の⑥）のままで Current Buffer 番号（図 2(b)の⑦）を変えることにより測定に使用した画像が確認できます（5 以降（枚数はメモリに依存）は測定時の画像，3 は背景光（無噴霧状態）の画像，4 は光ノイズを除去するマスクのパターン，5 は 3 枚の合成画像）．
- DSMLDM.cbk には，計測に使用した背景光強度の半径方向分布が保存されています．
- DSMLDM.out には，粒径頻度分布の測定に使用した光強度半径方向分布が保存されています．

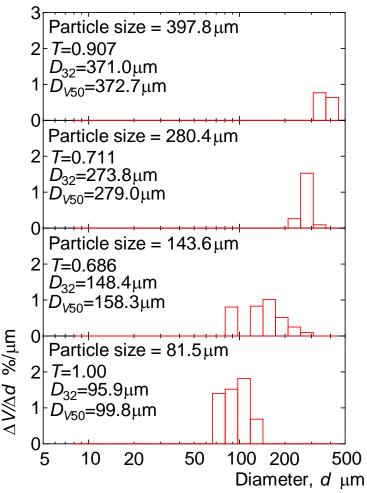



図13　測定結果の一例（Ngraph による粒径頻度分布の表示）

３．使用上の注意

(1) 本システムは，測定用のレーザー光以外の強い光が受光部（レンズ）に入射しないように設置してください．受光部が部屋の窓や照明灯を向くような設置は避けてください．

(2) 光軸がずれないよう，各部品は確実に固定するとともに，光学系に強い力や衝撃・振動を加えないでください．特に**測定中は光学レールに物を載せたり力を加えたりしないでください．**

(3) 本システムは，粒子群からの散乱光の強度分布が時間的にほとんど変動しないことを前提としています．そのため**間欠噴霧や噴霧パターンが時間変動する噴霧などは測定できません**．

(4) 本プログラムには多重散乱を補正する機能は含まれていません．噴霧が濃く，**透過率が低い場合には，多重散乱のため粒径を過小評価する可能性があります．**一般に，光ビームの透過率 Transmittance が 0.65 以下の場合（ザウター平均粒径 D32≦20μm では 0.85 以下の場合）には，多重散乱の影響が無視できなくなるとされています(1)．

(5) プログラムが表示する警告”Warning”は目安に過ぎません．警告の表示が出ないことは，測定結果の妥当性を保証するものではありません．

(6) 一般に，微小前方角散乱に基づく粒径計測装置（LDSA など）は空間平均の粒径を測定し，位相ドップラー法に基づく粒径計測装置（PDA など）は時間平均の粒径を測定します．これに対し本システムで測定する粒径は，原理上，時間平均でも空間平均でもありません（大きな粒子に関しては前者に近く，微細な粒子に関しては後者に近い）．測定対象の粒子群が移動している場合（特に大きな粒子と微細な粒子の速度が大きく異なる場合）には注意が必要です．

４．測定誤差の原因と対応

(1) 測定の過程で（Background Image 取込み後）光軸がずれると

⇒ Transmittance を過大評価したり，粒径頻度分布が歪んだりする．

（対応） 光軸がずれた場合には，測定を中止して最初からやり直す．

（補足） 図 8／D.(12)の焦点調整が不十分な場合，光軸のずれの影響を受け易くなる．

(2) 受光部や半導体レーザーに水滴やごみなどが付着すると

⇒ 付着した水滴やごみも含めて粒径頻度分布を測定する．

(3) 動作距離より遠方に粒子があると

⇒ 散乱光の一部が受光部で蹴られるため，小さな粒子の頻度を過小評価する．

（対応） 測定対象物を平凸レンズより 600mm 以内に配置する．

(4) 粒子数が少ない場合

⇒ 粒径頻度分布や各種粒径の測定誤差が大きい．

（補足） 定数 FVCUT, FVNCUT の値の設定によっては, 各種粒径の表示が全て 0 となる．

(5) 測定レンジ上限付近の粒径の粒子が多数存在すると（上限より大きな粒子があると）

⇒ 透過率を過大評価したり，粒径頻度分布が歪んだりするので，信頼性が低い．

（補足） **Dv90** の表示が粒径測定レンジの上限に近い場合や **D32** の表示が上限の半分より大きい場合などには注意が必要．

(6) 測定レンジ下限より小さい粒径の粒子が多数存在すると

⇒ 小さな粒子の頻度が正しく測定されない（各種粒径の表示は無効）．

（補足） **Dv10** の表示が粒径測定レンジの下限に近い場合には注意が必要．

文　献

(1) 日本工業規格 JIS Z 8825-1: 2001 (ISO 13320-1: 1999)，粒子径解析―レーザー回折法―第 1 部：測定原理，(2001)，日本規格協会.

(2) 伊藤正行，微粒子計測のための高速・高精度ミー散乱計算プログラムライブラリーの開発，RC114 最適噴霧制御技術の確立とスプレイテクノロジーの体系化に関する調査・研究分科会―研究成果報告書（最終），(1994)，pp.260-290，日本機械学会.

(3) 日本液体微粒化学会編，アトマイゼション・テクノロジー，(2001)，森北出版.

(4) 椿淳一郎・菅野泰平，現場で役立つ粒子径計測技術，(2001)，日刊工業新聞社.

(5) 鈴木孝司・斉藤　朗・藤松孝裕・林田和宏，簡易粒径計測システムの開発（第 1 報：開発の経緯とシステムの概要），微粒化，Vol.16, No.54 (2007), pp.34-46.

(6) 鈴木孝司・斉藤　朗・藤松孝裕・林田和宏，簡易粒径計測システムの開発（第 2 報：測定例および精度や適用可能範囲の検討），微粒化，Vol.17, No.58 (2008), pp.44-51.

(7) 鈴木孝司・服部秀則・藤松孝裕，簡易粒径計測システムの改良，第 19 回微粒化シンポジウム講演論文集，(2010)，pp.28-31.

(8) T.Suzuki, K.Harase, “Laser-diffraction based drop-sizing system using image sensor”, Proceedings of SPIE 9232, (2014), doi:10.1117/12. 2063606.

(9) 鈴木孝司・原瀬聖史，画像センサーを利用したレーザー回折法による簡易粒径計測システムの改良について，日本機械学会東海支部第 64 期総会講演会(TEC15)，(2015)，Paper #119.

表４　DSMLDM.txt（測定結果出力ファイル）の内容

１行目～２行目（１行目はヘッダー）

#001 測定時メモ	正規化前の 頻度の合計	透過率	求解 SOR ループ数	収束残差	エラー コード	D_{32} μm	D_{30} μm	D_{20} μm	D_{10} μm	D_{v10} μm	D_{v50} μm	D_{v90} μm	Span

３行目以降（３行目はヘッダー）

中心粒径	正規化前 の頻度	ヒストグラム の級の始点	0	ヒストグラム の級の終点	正規化後の 頻度 Fv	累積頻度分布 のための粒径	累積頻度 ΣFv	ヒストグラム の級の終点	分布関数の形の 頻度 Fv／Δd
（最小）	・	・	・	・	・	・	・	・	・
・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
（最大）	・	・	・	・	・	・	・	・	・
#　次の測定結果出力の始まり									

エラーコードの意味

Code =　0010　連立１次方程式の解が全てノイズレベル以下

0100　粒径頻度分布において最大径のノイズや頻度の低い部分が目立つ

表５　DSMLDM.set（定数設定ファイル）の内容

IMAX (≦10)	TH_B (≦960)	TH_H (880)	TH_L (10)	TH_X (2)	TH_N012 (25)	PCF_012 (25.0)
POWER2 (1.5)	ALPHA (0.3)	EPSILON (1.0E-6)	FVCUT (0.015)	FVNCUT (0.001)		
FilterType (1)	POWER (2.1)	N_FILTER (2)	CUTITP (2.0)	W_CURB (1)		
X_dot[0]	Y_dot[0]	DD (26)				

IMAX　Image-0,1,2 の撮影回数
TH_H　C-MOS センサのリニア領域の上限の輝度値
TH_B　C-MOS センサ出力がリニアから約５％低下する輝度値
TH_L　C-MOS センサでの量子化誤差が許容できる輝度値の下限
TH_X　散乱光強度分布を解析する際の輝度値の下限
TH_N012　Image-0,1,2 に対する Laser off 状態でのセンサノイズの許容値
PCF_012　Image-0,1,2 撮影の際の PixelClkFreq.[MHz] （PC の性能に依存，B.(5)参照）
POWER2　散乱光強度分布を左右おおむね対称のかたちに変換するための θ のべき指数
（データファイル DSMLDM.dat に対応した値とすること）
ALPHA　連立１次方程式を解く際の緩和係数（粒径頻度分布の形状に影響を及ぼす）
EPSILON　連立１次方程式を解く際の収束判定値
FVCUT　信頼性の低い解を Cut する敷居値
FVNCUT　粒径頻度分布において頻度がこの値以下の部分は無視する
FilterType　光 Noise mask 用 filter の切り替え（ 1 以上= ON ／ 0 = OFF ）
POWER　背景光および散乱光の強度分布を平坦化するための θ のべき指数（$I\theta^{POWER}$）
各領域の平均光強度の計算ならびに光 Noise 検出に使用
（FilterType＝0 のとき，以下の 3 つの定数には何が入っていてもよい）
N_FILTER　光 Noise 検出に先立って $I\theta^{POWER}$ を Smoothing する回数
CUTITP　光 Noise 検出のしきい値 $I\theta^{POWER}/mean(I\theta^{POWER})$
W_CURB　光 Noise と判断された画素の周囲の±W_CURB 内の画素もマスクする
X_dot[0]　設置した光学フィルタの中心(X 方向)の画素 No.
Y_dot[0]　設置した光学フィルタの中心(Y 方向)の画素 No.
上記の X_dot[0]および Y_dot[0]の値は XCAP の画像から決定
DD　製作した光学フィルタの Dot の直径 [Pixel]

謝　辞

この計測システムの開発に先立ち，元国士舘大学教授・中山満茂先生ならびに元 JAXA・林茂氏から有益なご助言をいただきました．システムの開発過程においては，富山商船高等専門学校・斉藤晶先生，鈴鹿工業高等専門学校・藤松孝裕先生，北見工業大学・林田和宏先生には，試用・検証など多大なるご協力いただきました．ここに付記して感謝の意を表します．また，日本液体微粒化学会の微粒化実験・計測法に関する研究分科会の皆さんにも感謝します．初期のシステムの開発研究は平成 18 年豊橋技術科学大学･教育研究活性化経費(高専連携)の助成を受けました．また，現行システム Ver.3.1 の開発研究は科研費（基盤研究(C)，課題番号 25420116）の助成を受けました．ここに付記して感謝の意を表します．

簡易粒径計測システムに必要なファイルなどをご希望の方は，筆者までお問い合わせください．現段階では，大学・高専などの研究者の方にのみ配布しています（有償ソフトを除く）．

本システムは開発段階です．バグや不具合等につきましては，ご指摘いただければできるかぎり対応させていただきますが，自ずと限界があります．あらかじめご承知おきください．

※　簡易粒径計測システムについて，皆さんからの試用報告をお待ちしています．

最終更新 2015.4.6（DSMLDM Ver.3.1）

メ　モ

（部品の入手先など）

（１）半導体レーザー（MLXA-A12-635-5）

・　製造・販売　キコー技研（官公庁とも直接取引き可能，大学向け価格設定あり）

〒663-8105 兵庫県西宮市中島町 3 番 33 号

TEL. 0798-64-4715㈹　FAX 0798-65-1377　URL http://www.kikoh.co.jp

（２）C-MOS カメラキット（EPIX 社製 SV9M001 Monochrome）

・　輸入元　株式会社アルゴ（営業技術　伊豆泰彰氏）

〒564-0063　大阪府吹田市江坂町 1 丁目 17-26　吉田東急ビル 8F

TEL.06-6339-3366　FAX 06-6339-3365　URL http://www.argocorp.com

（３）検定用のレチクル（Pyser-SGI 社製，スプレー小滴 NG30）

・　輸入元　株式会社光洋

〒100-0006　東京都千代田区有楽町 1-12-1　新有楽町ビル 3F

TEL.03-3213-1571　FAX 03-3284-0167　URL http://shop.koyo-opt.co.jp/

（４）マイクロフィルムの作成（直径 4mm の孔をあけた無反射の黒紙を 1/30 に縮小して撮影）

・　富士マイクロ株式会社

〒861-8046　熊本市東区石原 1-3-53

TEL.096-380-6661　FAX 096-389-2772　URL http://www.fujimicro.co.jp/

筆者連絡先

豊橋技術科学大学　機械工学系　鈴木孝司

〒441-8580　愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

TEL.0532-44-6667　FAX 0532-44-6661　URL http://www.tut.ac.jp/

Mail takashi@me.tut.ac.jp